



Hochschule Magdeburg-Stendal
Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Industriedesign (IWID)
Institut für Elektrotechnik

Masterarbeit

zur Erlangung des Grades eines "Master of Engineering"
im Studiengang Elektrotechnik

Thema: Moderne Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung und Realisierung von Prüfständen am Beispiel eines Druckschalterprüfstands

Eingereicht von: Jan Möllering

Angefertigt für: Elektromotoren und Gerätebau Barleben GmbH

Matrikel:

Ausgabetermin: 31.07.2021

Abgabetermin: 31.09.2021

Schulischer Betreuer: Herr Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Mecke

Betrieblicher Betreuer: Herr Dipl.-Ing. Falk Höhne

.....
1. Prüfer

.....
2. Prüfer

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Textpassagen, die wörtlich oder dem Sinn nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Abstract

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Konzeptionierung und Realisierung eines Einzelprüfstands für Buchholz- und Gasrelais. Es wird die Elektronik und die Software entwickelt und erklärt. Teile des fertigen Prüfstands werden auf ihre Funktionen überprüft und die Testergebnisse vorgestellt.

This Thesis is about the development of a concept of a test bench and its implementation. The test bench is for buchholz- and gasrelays. The electronics and software are developed and explained. Parts of the finished test bench are being tested. The results will be presented.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	II
1 Motivation und Aufgabenstellung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Prüfstände	1
1.3 Detaillierte Anforderungen an das Prüfgerät	2
1.3.1 Schutzgerät CF38 mit Druckschalter	2
1.3.2 Anforderungen	2
1.4 Aufgabenstellung	3
2 Messtechnik	5
2.1 Grundlagen Sensoren	5
2.2 Analog Digital Wandler	5
2.3 SAR ADC	5
2.4 Delta-Sigma ADC	5
2.5 Schaltungsdesign Strommessung	5
3 Mikrocontroller-Programmierung	6
3.1 Grundlagen der Mikrocontroller-Programmierung	6
3.2 Echtzeitbetriebssysteme	6
3.3 Schrittketten-Programmierung	6
3.4 Steuerung-Programmierung	6
4 Kommunikation	7
4.1 USB	7
4.2 Bus Systeme	7
4.2.1 RS232	7
4.2.2 RS485	7
4.2.3 CAN	7
4.2.4 Ethernet	7
4.2.5 I2C	7
4.2.6 SPI	7
4.3 Protokolle	7
4.3.1 Modbus	7
4.3.2 Profibus	7
4.3.3 TCP/IP	7
4.3.4 MQTT	7

5	Grafische Benutzeroberfläche	8
5.1	Grundlagen	8
5.1.1	Hardware	8
5.1.2	Model-View-Presenter Struktur	8
5.2	Material Design	8
5.2.1	Farbsystem	8
5.2.2	Layoutsystem	8
5.2.3	Typografiesystem	8
5.2.4	Dark Theme	8
5.3	Framework	8
5.3.1	Embedded wizard	8
5.3.2	TouchGFX	8
5.3.3	LVGL	8
5.3.4	Qt for MCU	8
5.3.5	Electron und React	8
6	Datenverarbeitung	9
6.1	JSON Datenformat	9
6.2	Serielle Schnittstelle mit Python	9
6.3	Dokumentengenerierung	9
6.3.1	Word	9
6.3.2	PDF	9
6.3.3	Excel	9
6.3.4	CSV	9
7	Messsystemanalyse	10
7.1	Genauigkeit	10
7.2	Stabilität	10
7.3	Präzision	10
8	Zusammenfassung und Ausblick	11
8.1	Zusammenfassung	11
8.2	Ausblick	11

Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

GmbH	Gemeinschaft mit beschränkter Haftung
USD	United States Dollar
CSV	Comma Separated Values
PDF	Portable Document Format
USB	Universal Serial Bus
I2C	Inter-Integrated Circuit
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
IPC	Inter Process Communication
DOM	Document Object Model
LED	Light Emitting Diode
ADC	Analog-to-Digital Converter
RTOS	Real Time Operating System
OS	Operating System
API	Application Programming Interface
HTML	Hypertext Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
SCL	System Clock
SDA	System Data
JSON	JavaScript Object Notation
XML	Extensible Markup Language
SAR	Successive Approximation Register
DAC	Digital-to-Analog Converter
Mio	Millionen
FiFo	First in First out

Kapitel 1

Motivation und Aufgabenstellung

1.1 Motivation

Die Nutzung von elektrischer Energie hat in der Menschheitsgeschichte zu einem neuen Zeitalter geführt. Es hat zu einem riesigen Wohlstand- und Fortschrittswachstum beigetragen. Heutzutage sind wir so sehr auf die Nutzung von elektrischer Energie angewiesen, dass es nur noch schwer aus dem normalen Leben wegzudenken ist. Im privaten wie im öffentlichen und gewerblichen Bereich ist die Versorgung mit elektrischer Energie systemrelevant. Dementsprechend wichtig ist das Verteilnetz der Netzbetreiber. Es ist äußerst wichtig, dass es verlässlich funktioniert.

Eines der wichtigsten und teuersten Bestandteile des Stromnetzes ist der Transformator. Um eine hohe Verlässlichkeit zu gewährleisten, ist es deshalb sehr wichtig, dass Fehlbetrieb und Fehlerfälle im Transformator frühzeitig erkannt werden können. Bei größeren Fehlern, muss der Transformator vom Netz getrennt werden, um eine Zerstörung zu vermeiden. Für diesen Zweck stellt Elektromotoren und Gerätebau Barleben GmbH diverse Schutzgeräte für Transformatoren her.

Um die Schutzfunktion zu gewährleisten, wird jedes Schutzgerät einer Komplettprüfung unterzogen. Für eine aussagekräftige und verlässliche Prüfung werden spezielle Prüfstände und Prüfgeräte benötigt. Die Entwicklung und Realisierung solcher Prüfstände kann mit Hilfe von vielen unterschiedlichen Werkzeugen und Methoden erfolgen. In den letzten Jahren sind besonders im Informationstechnik-Bereich große Fortschritte erzielt worden, wodurch sich neue Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung und Realisierung von Prüfständen ergeben haben.

Am Beispiel eines Druckschalterprüfgeräts soll der Entwicklungs- und Realisierungsprozess mit Hilfe von modernen Methoden und Werkzeugen erläutert werden. Für Personen ohne Vorwissen sollen die unterschiedlichen zentralen Aufgabenfelder der Prüfstandsentwicklung und -realisierung vorgestellt werden. Sie sollen einen Einblick und ein Verständnis von der Funktionsweise der Methoden und Werkzeuge und deren Anwendung bekommen. Für Personen mit Vorwissen soll ein alternativer Lösungsweg beschrieben werden, damit sie ihren Wissenshorizont erweitern können und einen anderen Blickwinkel auf die Thematik erlangen.

1.2 Prüfstände

Prüfstände dienen der reproduzierbaren Prüfung von technischen Gegenständen auf seine Eigenschaften. Bestandteile eines Prüfstands ist die Aufnahme des Prüflings, die Sensorik zum Erfassen der zu prüfenden Eigenschaften, die Akto-

rik zum Erzeugen der Prüfbedingungen, die Steuerung des Prüfstands und die Datenverarbeitung der generierten Messwerte. Es wird zwischen Entwicklungs- und EoL (*englisch: End of Line*) Prüfständen unterschieden.

Entwicklungsprüfstände dienen der Entwicklung neuer Produkte oder der Prüfung von Prototypen. Sie verlangen meist eine höhere Spannweite in den einzustellenden Prüfbedingungen und eine genauere Anzeige der Messwerte. Die Prüflinge müssen zum Teil unter Extrembedingungen oder über sehr lange Zeiträume getestet werden.

EoL-Prüfstände dienen der Qualitätskontrolle der Produktion. Sie prüfen am Ende des Produktionsprozesses, ob das gefertigte Produkt alle relevanten Eigenschaften und Funktionen in einem ausreichenden Maß besitzt. Im Gegensatz zu den Entwicklungsprüfständen sind die Prüfbedingungen von EoL-Prüfständen meist fest vorgegeben und benötigen keinen so großen Einstellbereich. Auch die Anzeige der Messwerte sollte sich auf das Wesentliche beschränken, damit die relevanten Informationen schnell und sicher dem Prüfstand entnommen werden können.

1.3 Detaillierte Anforderungen an das Prüfgerät

Als Beispiel, an dem die Methoden und Werkzeuge zur Prüfstandsentwicklung vorgestellt werden, dient ein Druckschalterprüfgerät. Dieses Druckschalterprüfgerät soll als EoL-Prüfstand Druckschalter testen, welche in Schutzgeräten für Hermetiktransformatoren eingebaut sind. Für ein besseres Verständnis soll an dieser Stelle auf das Schutzgerät an sich und auf die Anforderungen des Prüfgeräts eingegangen werden.

1.3.1 Schutzgerät CF38 mit Druckschalter

Das Gasrelais CF38 mit Druckschalter wurde für hermetisch abgeschlossene Transformatoren entwickelt. Hermetik-Transformatoren wurden entwickelt, weil Sauerstoff in der Umgebungsluft einen großen Einfluss auf den Alterungsprozess und damit auf die Lebensdauer eines Transformators hat. Durch den hermetischen Abschluss wird ein Luftaustausch mit der Umgebungsluft unterbunden und damit die Lebensdauer erhöht. Einer der großen Nachteile gegenüber herkömmlichen Transformatoren ist, dass es schwieriger ist bei Temperaturschwankungen mit sich ausdehnendem Öl umzugehen. Es kann ein hoher Druck im Transformator entstehen. Um Beschädigungen des Transformators zu verhindern, schaltet der Druckschalter im CF38 Gasrelais bei einem bestimmten Grenzwert. Am Ende des Produktionsprozesses muss überprüft werden, ob der Druckschalter innerhalb eines Toleranzbereichs des angegebenen Grenzwerts schaltet. Für die Überprüfung wird ein Druckschalterprüfgerät entwickelt. Dafür haben sich bestimmte Anforderungen ergeben.

1.3.2 Anforderungen

Das Prüfgerät soll Druckschalter überprüfen, die im CF38 Gasrelais eingebaut sind. Der Schaltpunkt des Druckschalters kann bis zu 1 bar betragen. Die Messmittelfähigkeit soll anschließend überprüft und verifiziert werden.

Durchzuführende Prüfungen

Es sollen mindestens zwei Druckschalter gleichzeitig geprüft werden. Dabei sollen der Einschaltpunkt und der Ausschaltpunkt von Schließer- und Öffner-Kontakten bestimmt werden.

Hardwareentwicklung

Für das Prüfgerät soll eine Platine entworfen werden. Kernfunktion dieser Platine ist es eine hochpräzise Strommessung im Bereich 0-20 mA zu ermöglichen. Ein geeignetes Schaltungsdesign ist zu wählen.

Es muss außerdem im Hinblick auf die Messungen und der grafischen Oberfläche ein geeigneter Mikrocontroller oder Entwicklungsboard ausgewählt werden.

Entwicklung einer grafischen Anzeige

Auf einem Display sollen die Messwerte in geeigneter Form angezeigt werden. Es ist auf eine übersichtliche Darstellung zu achten, bei der nur die benötigten Informationen angezeigt werden. Die Bedienung erfolgt über einen Drehknopf. Bei dem Display soll es sich um ein 4.3" oder 5" LCD-Display handeln.

Mobilität durch integrierte Spannungsversorgung

Das Prüfgerät soll mobil ohne externe Spannungsversorgung funktionieren. Es soll sich um ein Handgerät handeln. Dafür muss eine interne Spannungsquelle ausgewählt und die dazugehörige Elektronik für die Platine entwickelt werden.

Datenverarbeitung und -speicherung

Es soll die Möglichkeit geben, die Messwerte an eine zentrale Datenverarbeitungseinheit zu senden. Die Verbindung kann dabei mit Kabel oder kabellos erfolgen.

Die Messwerte sollen zentral in einem geeigneten Dateiformat gespeichert werden. Aus den Messwerten soll auch ein Protokoll erstellt werden, welches auch vom Messgerät ausgedruckt werden kann. Von unterschiedlichen Computern soll über das firmeninterne Netzwerk auf die gespeicherten Daten zugegriffen werden können.

1.4 Aufgabenstellung

Die Teilaufgaben umfassen:

- Einarbeitung in die ...
- Entwicklung der Elektronik für das Prüfgerät
 - Unterpunkt 1

- Unterpunkt 2
 - Messen von Stromwerten im μA Bereich
- Entwicklung und Programmierung der Software für das Prüfgerät
 - Steuerung des Prüfgeräts
 - Darstellung, Speicherung und Auswertung der Messwerte
 - Realisierung einer grafischen Oberfläche
- Auswahl aller benötigten Komponenten
- Aufbau eines funktionsfähigen Prototyps des Prüfgeräts
- Erprobung und Testung von Teilkomponenten

Kapitel 2

Messtechnik

2.1 Grundlagen Sensoren

Hier stehen die Grundlagen für Sensoren

2.2 Analog Digital Wandler

2.3 SAR ADC

2.4 Delta-Sigma ADC

2.5 Schaltungsdesign Strommessung

Kapitel 3

Mikrocontroller-Programmierung

3.1 Grundlagen der Mikrocontroller-Programmierung

3.2 Echtzeitbetriebssysteme

3.3 Schrittketten-Programmierung

3.4 Steuerung-Programmierung

Kapitel 4

Kommunikation

4.1 USB

4.2 Bus Systeme

4.2.1 RS232

4.2.2 RS485

4.2.3 CAN

4.2.4 Ethernet

4.2.5 I2C

4.2.6 SPI

4.3 Protokolle

4.3.1 Modbus

4.3.2 Profibus

4.3.3 TCP/IP

4.3.4 MQTT

Kapitel 5

Grafische Benutzeroberfläche

5.1 Grundlagen

5.1.1 Hardware

5.1.2 Model-View-Presenter Struktur

5.2 Material Design

5.2.1 Farbsystem

5.2.2 Layoutsystem

5.2.3 Typografiesystem

5.2.4 Dark Theme

5.3 Framework

5.3.1 Embedded wizard

5.3.2 TouchGFX

5.3.3 LVGL

5.3.4 Qt for MCU

5.3.5 Electron und React

Kapitel 6

Datenverarbeitung

6.1 JSON Datenformat

6.2 Serielle Schnittstelle mit Python

6.3 Dokumentengenerierung

6.3.1 Word

6.3.2 PDF

6.3.3 Excel

6.3.4 CSV

Kapitel 7

Messsystemanalyse

7.1 Genauigkeit

7.2 Stabilität

7.3 Präzision

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

8.2 Ausblick